

日 本 国 特 許 庁

PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

1999年 4月21日

出 願 番 号

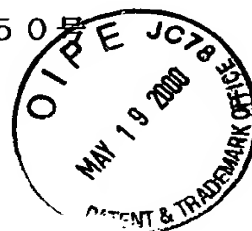
Application Number:

平成11年特許願第113050号

出 願 人

Applicant (s):

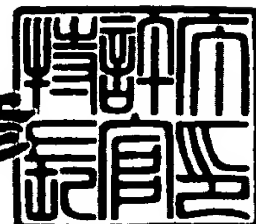
日亜化学工業株式会社



2000年 4月14日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

近藤 隆彦



出証番号 出証特2000-3026929

【書類名】 特許願

【整理番号】 P99ST14-4

【提出日】 平成11年 4月21日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 33/00

【発明者】

【住所又は居所】 徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

【氏名】 谷沢 公二

【特許出願人】

【識別番号】 000226057

【氏名又は名称】 日亜化学工業株式会社

【代表者】 小川 英治

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 平成11年特許願第 87078号

【出願日】 平成11年 3月29日

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 平成11年特許願第 95420号

【出願日】 平成11年 4月 1日

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 平成11年特許願第 98158号

【出願日】 平成11年 4月 5日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 010526

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 窒化物半導体素子

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板上に、少なくとも n 型窒化物半導体層、活性層及び p 型窒化物半導体層を順に有する窒化物半導体素子において、

前記活性層が、 $\text{In}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ ($0 \leq a < 1$) を含んでなる多重量子井戸構造であり、該活性層上に、

A l を含む第 1 の窒化物半導体層と、該第 1 の窒化物半導体層と異なる組成を有する第 2 の窒化物半導体層とが積層されてなり、さらに該第 1 の窒化物半導体層及び第 2 の窒化物半導体層の少なくとも一方に p 型不純物を含有してなる p 型多層膜層と、

該 p 型多層膜層上に、前記 p 型多層膜層の p 型不純物濃度より低濃度で p 型不純物を含有する p 型低濃度ドープ層と、

該 p 型低濃度ドープ層上に、前記 p 型多層膜層及び p 型低濃度ドープ層の p 型不純物濃度より、高濃度で p 型不純物を含有する p 型コンタクト層とを有することを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項 2】 前記 p 型低濃度ドープ層が $\text{Al}_s\text{Ga}_{1-s}\text{N}$ ($0 < s < 0.5$) を含んでなり、さらに p 型低濃度ドープ層の A l 組成比が、前記 p 型多層膜層の平均の A l 組成比より小さいことを特徴とする請求項 1 に記載の窒化物半導体素子。

【請求項 3】 基板上に、n 型窒化物半導体層、活性層及び p 型窒化物半導体層を有する窒化物半導体素子において、

前記活性層が、 $\text{In}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ ($0 \leq a < 1$) を含んでなる多重量子井戸構造であり、該活性層上に、

$\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ ($0 \leq b \leq 1$) を含んでなり p 型不純物を含有する p 型単一膜層と、

該 p 型単一膜層上に、前記 p 型単一膜層の p 型不純物濃度より、低濃度で p 型不純物を含有する p 型低濃度ドープ層と、

該 p 型低濃度ドープ層上に、前記 p 型単一膜層及び p 型低濃度ドープ層の p 型不

純物濃度より、高濃度で p 型不純物を含有する p 型コンタクト層とを有することを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項 4】 前記 p 型低濃度ドーブ層が $Al_sGa_{1-s}N$ ($0 < s < 0.5$) を含んでなり、さらに p 型低濃度ドーブ層の Al 組成比が、前記 p 型単一膜層の Al 組成比より小さいことを特徴とする請求項 3 に記載の窒化物半導体素子。

【請求項 5】 前記 p 型低濃度ドーブ層中の p 型不純物が、前記 p 型多層膜層と前記 p 型コンタクト層とから拡散により含有されたもの、又は前記 p 型単一膜層と p 型コンタクト層とから拡散により含有されたものであることを特徴とする請求項 1～4 に記載の窒化物半導体素子。

【請求項 6】 前記 p 型多層膜層の p 型不純物濃度が、 $5 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ であることを特徴とする請求項 1、2 及び 5 のいずれかに記載の窒化物半導体素子。

【請求項 7】 前記 p 型単一膜層の p 型不純物濃度が、 $5 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ であることを特徴とする請求項 3～5 のいずれかに記載の窒化物半導体素子。

【請求項 8】 前記 p 型低濃度ドーブ層の p 型不純物濃度が、 $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 未満であることを特徴とする請求項 1～7 のいずれかに記載の窒化物半導体素子。

【請求項 9】 前記 p 型コンタクト層の p 型不純物濃度が、 $1 \times 10^{18} \sim 5 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ であることを特徴とする請求項 1～8 のいずれかに記載の窒化物半導体素子。

【請求項 10】 前記 n 型窒化物半導体層として、アンドープの窒化物半導体からなる下層、n 型不純物がドーブされている窒化物半導体からなる中間層、及びアンドープの窒化物半導体からなる上層の少なくとも 3 層が順に積層される n 型第 1 多層膜層を有することを特徴とする請求項 1～9 に記載の窒化物半導体素子。

【請求項 11】 前記基板上に順に、アンドープ GaN 層及び n 型不純物を含有する n 型コンタクト層を有することを特徴とする請求項 1～10 に記載の窒化物半導体素子。

【請求項 1 2】 前記 n 型第 1 多層膜層が、前記 n 型コンタクト層上に形成されており、更に前記アンドープ GaN 層、n 型コンタクト層、及び n 型第 1 多層膜層の合計の膜厚が、 $2 \sim 20 \mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項 1 1 に記載の窒化物半導体素子。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【産業上の利用分野】

本発明は、発光ダイオード (LED)、レーザダイオード (LD)、太陽電池、光センサー等の発光素子、受光素子、あるいはトランジスタ、パワーデバイス等の電子デバイスに使用される窒化物半導体 (例えば、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 、 $0 \leq x$ 、 $0 \leq y$ 、 $x+y \leq 1$) 素子に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

窒化物半導体は高輝度青色 LED、純緑色 LED の材料として、フルカラー LED ディスプレイ、交通信号灯、イメージスキャナー光源等の各種光源で実用化されている。これらの LED 素子は基本的に、サファイア基板上に GaN よりなるバッファ層と、Si ドープ GaN よりなる n 側コンタクト層と、単一量子井戸構造 (SQW: Single-Quantum-Well) の InGa_N、あるいは InGa_N を有する多重量子井戸構造 (MQW: Multi-Quantum-Well) の活性層と、Mg ドープ AlGa_N よりなる p 側クラッド層と、Mg ドープ GaN よりなる p 側コンタクト層とが順に積層された構造を有しており、20 mA において、発光波長 450 nm の青色 LED で 5 mW、外部量子効率 9.1%、520 nm の緑色 LED で 3 mW、外部量子効率 6.3% と非常に優れた特性を示す。

多重量子井戸構造は、複数のミニバンドからなる構造を有し、効率よく、小さな電流でも発光が実現することから、単一量子井戸構造より発光出力が高くなる等の素子特性の向上が期待される。

また例えば、多重量子井戸構造の活性層を用いた LED 素子として、特開平 10-135514 号公報には、発光効率及び発光光度を良好とするため、少なくともアンドープの GaN からなるバリア層、アンドープの InGa_N からなる井

戸層からなる多重量子井戸構造の発光層、更に発光層のバリア層よりも広いバンドギャップを持つクラッド層を有する窒化物半導体素子が開示されている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記従来の素子をLED素子として、照明用光源、直射日光の当たる屋外ディスプレイ等に使用するためには発光出力が十分満足できるものではない。このように多重量子井戸構造の活性層は、発光出力の飛躍的な向上が考えられるが、その予想される可能性を十分に発揮させ難い。

また、窒化物半導体からなる素子は、その構造上、人体に生じる静電気より遙かに弱い100Vの電圧でさえも劣化する可能性がある。例えば、帯電防止処理された袋等から取り出す際、また製品に応用する際等、劣化する危険性が考えられる。窒化物半導体素子の信頼性をより高めるには、このような劣化の危険性をなくすことが望まれる。

【0004】

そこで、本発明の目的は、多重量子井戸構造の活性層を用い種々の応用製品への適用範囲の拡大を可能とするため、発光出力がより向上し、静電耐圧が良好な窒化物半導体発光素子を提供することである。

【0005】

【課題を解決するための手段】

即ち、本発明は、下記(1)～(12)の構成により本発明の目的を達成することができる。

(1) 基板上に、少なくともn型窒化物半導体層、活性層及びp型窒化物半導体層を順に有する窒化物半導体素子において、前記活性層が、 $\text{In}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ ($0 \leq a < 1$) を含んでなる多重量子井戸構造であり、該活性層上に、Alを含む第1の窒化物半導体層と、該第1の窒化物半導体層と異なる組成を有する第2の窒化物半導体層とが積層されてなり、さらに該第1の窒化物半導体層及び第2の窒化物半導体層の少なくとも一方にp型不純物を含有してなるp型多層膜層と、

該 p 型多層膜層上に、前記 p 型多層膜層の p 型不純物濃度より低濃度で p 型不純物を含有する p 型低濃度ドープ層と、

該 p 型低濃度ドープ層上に、前記 p 型多層膜層及び p 型低濃度ドープ層の p 型不純物濃度より、高濃度で p 型不純物を含有する p 型コンタクト層とを有することを特徴とする窒化物半導体素子。

(2) 前記 p 型低濃度ドープ層が $Al_sGa_{1-s}N$ ($0 < s < 0.5$) を含んでなり、さらに p 型低濃度ドープ層の Al 組成比が、前記 p 型多層膜層の平均の Al 組成比より小さいことを特徴とする (1) に記載の窒化物半導体素子。

(3) 基板上に、n 型窒化物半導体層、活性層及び p 型窒化物半導体層を有する窒化物半導体素子において、

前記活性層が、 $In_aGa_{1-a}N$ ($0 \leq a < 1$) を含んでなる多重量子井戸構造であり、該活性層上に、

$Al_bGa_{1-b}N$ ($0 \leq b \leq 1$) を含んでなり p 型不純物を含有する p 型単一膜層と、該 p 型単一膜層上に、前記 p 型単一膜層の p 型不純物濃度より、低濃度で p 型不純物を含有する p 型低濃度ドープ層と、

該 p 型低濃度ドープ層上に、前記 p 型単一膜層及び p 型低濃度ドープ層の p 型不純物濃度より、高濃度で p 型不純物を含有する p 型コンタクト層とを有することを特徴とする窒化物半導体素子。

(4) 前記 p 型低濃度ドープ層が $Al_sGa_{1-s}N$ ($0 < s < 0.5$) を含んでなり、さらに p 型低濃度ドープ層の Al 組成比が、前記 p 型単一膜層の Al 組成比より小さいことを特徴とする (3) に記載の窒化物半導体素子。

(5) 前記 p 型低濃度ドープ層中の p 型不純物が、前記 p 型多層膜層と前記 p 型コンタクト層とから拡散により含有されたもの、又は前記 p 型単一膜層と p 型コンタクト層とから拡散により含有されたものであることを特徴とする (1) ~ (4) に記載の窒化物半導体素子。

(6) 前記 p 型多層膜層の p 型不純物濃度が、 $5 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ であることを特徴とする (1)、(2) 及び (5) のいずれかに記載の窒化物半導体素子。

(7) 前記 p 型単一膜層の p 型不純物濃度が、 $5 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{21} /$

cm^3 であることを特徴とする(3)～(5)のいずれかに記載の窒化物半導体素子。

(8) 前記 p 型低濃度ドーブ層の p 型不純物濃度が、 $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 未満であることを特徴とする(1)～(7)のいずれかに記載の窒化物半導体素子。

(9) 前記 p 型コンタクト層の p 型不純物濃度が、 $1 \times 10^{18} \sim 5 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ であることを特徴とする(1)～(8)のいずれかに記載の窒化物半導体素子。

(10) 前記 n 型窒化物半導体層として、アンドープの窒化物半導体からなる下層、n 型不純物がドーブされている窒化物半導体からなる中間層、及びアンドープの窒化物半導体からなる上層の少なくとも 3 層が順に積層されてなる n 型第 1 多層膜層を有することを特徴とする(1)～(9)に記載の窒化物半導体素子。

(11) 前記 n 型第 1 多層膜層の基板側に、基板に向かって順に、n 型不純物を含有する n 型コンタクト層及びアンドープ GaN 層を有することを特徴とする(10)に記載の窒化物半導体素子。

(12) 前記アンドープ GaN 層、n 型コンタクト層、及び n 型第 1 多層膜層の合計の膜厚が、 $2 \sim 20 \mu\text{m}$ であることを特徴とする(11)に記載の窒化物半導体素子。

【0006】

つまり、本発明は、多重量子井戸構造の活性層上(本発明においては活性層の p 側を示す。)に、p 型不純物の濃度がそれぞれ、中濃度ドーブの p 型層(p 型多層膜層又は p 型単一膜層)と、低濃度ドーブの p 型低濃度ドーブ層と、高濃度ドーブの p 型コンタクト層を順に成長させて、素子構造の p 側に特定の 3 種の層に渡って、p 型不純物の特定の濃度変化を形成することにより、3 種の層が相乗的に作用し、発光出力の向上、及び静電耐圧の向上が可能な窒化物半導体素子を提供することができる。

ここで、本発明において、中濃度ドーブの p 型多層膜層及び中濃度ドーブの p 型単一膜層は、活性層上層に形成され、クラッド層として作用するので、以下こ

これらの層を p 型クラッド層として説明する。しかし、中濃度ドーブの p 型多層膜層及び中濃度ドーブの p 型単一膜層はこれに限定されない。

【0007】

更に、p 型低濃度ドーブ層が $Al_sGa_{1-s}N$ ($0 < s < 0.5$) を含んでなり、さらに p 型低濃度ドーブ層の Al 組成比が、p 型多層膜層の平均の Al 組成比、又は p 型単一膜層の Al 組成比より小さいと、p 型低濃度ドーブ層の膜厚を薄くしても良好な発光出力と共に良好な静電耐圧を得る点で好ましい。また p 型低濃度ドーブ層の膜厚を薄くすることが可能となると、製造工程での時間の短縮が可能となる等の工程の簡易化が可能となる。

【0008】

更に、本発明において、p 型低濃度ドーブ層中の p 型不純物が、その p 型不純物が、前記 p 型クラッド層 (p 型多層膜層又は p 型単一膜層) と、前記 p 型コンタクト層とから拡散により含有されたものであると、p 型低濃度ドーブ層の p 型不純物濃度が、p 型クラッド層及び p 型コンタクト層より低濃度に調整し易くなり、発光出力及び静電耐圧を向上させる点で好ましい。

また更に、本発明において、p 型クラッド層 (多層膜層及び単一膜層) の p 型不純物濃度が、 $5 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ であると、隣接する p 型低濃度ドーブ層の濃度の調整を良好に行うことができ、発光出力及び静電耐圧を向上させる点で好ましい。p 型不純物濃度は、多層膜からなる p 型多層膜層の場合、多層膜を構成している各層の平均の濃度を示す。

また更に、本発明において、p 型低濃度ドーブ層の p 型不純物濃度が、 $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 未満であると、発光出力及び静電耐圧を向上させる点で好ましい。

また更に、本発明において、p 型コンタクト層の p 型不純物濃度が、 $1 \times 10^{18} \sim 5 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ であると、p 型クラッド層及び p 型低濃度ドーブ層の濃度よりも高い濃度となり、且つ p 型クラッド層、p 型低濃度ドーブ層、及び p 型コンタクト層の各層間での p 型不純物の濃度の関係を上記のように特定でき、発光出力及び静電耐圧を向上させる点で好ましい。

【0009】

上記 p 型クラッド層、p 型低濃度ドーブ層、及び p 型コンタクト層の各 p 型不

純物濃度において、その関係が中濃度、低濃度、高濃度となるように上記範囲で適宜選択され調整されるものである。

ここで、本発明において、中濃度、低濃度、高濃度とは、p型クラッド層と、p型低濃度ドーピング層と、p型コンタクト層の3層間でのp型不純物濃度の関係を示すものである。

【0010】

また更に、本発明において、n型窒化物半導体層として、アンドープの窒化物半導体からなる下層、n型不純物がドーピングされている窒化物半導体からなる中間層、及びアンドープの窒化物半導体からなる上層の少なくとも3層が順に積層されてなるn型第1多層膜層を有すると、p側の上記の層との組み合わせにより静電耐圧を向上させる点で好ましい。

また更に、本発明において、n型第1多層膜層の基板側に、基板に向かって順に、n型不純物を含有するn型コンタクト層及びアンドープGaN層を有すると、より静電耐圧の向上の点で好ましい。

また更に、本発明において、アンドープGaN層、n型コンタクト層、及びn型第1多層膜層の合計の膜厚が、 $2\sim 20\mu\text{m}$ 、好ましくは $3\sim 10\mu\text{m}$ 、より好ましくは $4\sim 9\mu\text{m}$ であると、静電耐圧をより向上させることができ好ましい。また上記範囲の膜厚であると静電耐圧以外の他の素子特性も良好である。また、上記3層の合計の膜厚は、各層の好ましい膜厚の範囲内で、3層の合計の膜厚が上記範囲となるように適宜調整される。

【0011】

上記のように、本発明は、上記特定の3種のp型層と、更に特定のn型層とを組み合わせることにより、発光出力及び静電耐圧の向上をより向上させることができ、窒化物半導体素子の信頼性を高め種々の応用製品への適用範囲の拡大を可能とすることができる。

【0012】

また、本発明において、素子構造の説明部分等に記載されているアンドープとは、意図的に不純物をドーピングしないで形成した層を示し、隣接する層からの不純物の拡散、原料又は装置からのコンタミネーションにより不純物が混入した層で

あっても、意図的に不純物をドーピングしていない場合にはアンドープ層とする。なお、拡散により混入する不純物は層内において不純物濃度に勾配がついている場合がある。

【0013】

また、本発明において、組成が異なるとは、例えば、窒化物半導体を構成する元素（例えば2元混晶や3元混晶の元素の種類）、元素の比、又はバンドギャップエネルギーなどが異なる場合が挙げられる。また、これらの値は、特定の層が多層膜から構成される場合は層全体の平均の値とする場合がある。

本発明の前記第1の窒化物半導体層と、第2の窒化物半導体層の組成が異なる場合の具体例としては、上記のように元素の比やバンドギャップエネルギー等が異なる場合が当てはまるが、本発明では第1の窒化物半導体層と第2の窒化物半導体層との異なる組成の具体例としては、後述のようにバンドギャップエネルギーの異なるものが挙げられる。

【0014】

また、本発明において、不純物濃度の測定は、種々の測定方法により測定可能であるが、例えば二次イオン質量分析（SIMS；Secondary Ion Mass Spectrometry）が挙げられる。

【0015】

【発明の実施の形態】

本発明の窒化物半導体素子としては、活性層上に、上記の本発明の中濃度ドーピングのp型クラッド層（p型多層膜層又はp型単一膜層）と、低濃度ドーピングのp型低濃度ドーピング層と、高濃度ドーピングのp型コンタクト層とを含む素子構造を有する素子であれば特に限定されず、好ましい本発明の一実施の形態である窒化物半導体素子の構造としては、図1に示す素子構造を有する窒化物半導体素子を挙げることができる。しかし本発明はこれに限定されない。図1は窒化半導体素子の素子構造を示す模式的断面図である。図1を用いて、本発明を詳細に説明する。

【0016】

図1は、基板1上に、バッファ層2、アンドープGaN層3、n型不純物を含むn型コンタクト層4、アンドープの下層5a、n型不純物ドーピングの中間層5b

及びアンドープの上層 5c の 3 層からなる n 側第 1 多層膜 5、第 1 及び第 2 の窒化物半導体層よりなる n 側第 2 多層膜層 6、多重量子井戸構造の活性層 7、p 型不純物を高濃度ドーピングの多層膜又は単一膜の p 型クラッド層 8、p 型不純物を低濃度ドーピングの p 型低濃度ドーピング層 9、p 型不純物を高濃度ドーピングの p 型コンタクト層 10 が順に積層された構造を有する。

更に n 型コンタクト層 4 上に n 電極 12、p 型コンタクト層 10 上に p 電極 11 がそれぞれ形成されている。

【0017】

本発明において、基板 1 としては、サファイア C 面、R 面又は A 面を主面とするサファイア、その他、スピネル ($MgAl_2O_4$) のような絶縁性の基板の他、SiC (6H、4H、3C を含む)、Si、ZnO、GaAs、GaN 等の半導体基板を用いることができる。

【0018】

本発明において、バッファ層 2 としては、 $Ga_dAl_{1-d}N$ (但し d は $0 < d \leq 1$ の範囲である。) からなる窒化物半導体であり、好ましくは Al の割合が小さい組成ほど結晶性の改善が顕著となり、より好ましくは GaN からなるバッファ層 2 が挙げられる。

バッファ層 2 の膜厚は、 $0.002 \sim 0.5 \mu m$ 、好ましくは $0.005 \sim 0.2 \mu m$ 、更に好ましくは $0.01 \sim 0.02 \mu m$ の範囲に調整する。バッファ層 2 の膜厚が上記範囲であると、窒化物半導体の結晶モフォロジーが良好となり、バッファ層 2 上に成長させる窒化物半導体の結晶性が改善される。

バッファ層 2 の成長温度は、 $200 \sim 900^\circ C$ であり、好ましくは $400 \sim 800^\circ C$ の範囲に調整する。成長温度が上記範囲であると良好な多結晶となり、この多結晶が種結晶としてバッファ層 2 上に成長させる窒化物半導体の結晶性を良好にでき好ましい。

また、このような低温で成長させるバッファ層 2 は、基板の種類、成長方法等によっては省略してもよい。

【0019】

次に、本発明において、アンドープ GaN 層 3 は、成長する際に n 型不純物を

添加せずに成長してなる層を示す。バッファ層 2 上にアンドープ GaN 層 3 を成長させるとアンドープ GaN 層 3 の結晶性が良好となり、アンドープ GaN 層 3 上に成長させる n 側コンタクト層 4 などの結晶性も良好となる。アンドープ GaN 層 3 の膜厚としては、 $0.01\text{ }\mu\text{m}$ 以上であり、好ましくは $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 以上であり、より好ましくは $1\text{ }\mu\text{m}$ 以上である。膜厚がこの範囲であると、n 側コンタクト層 4 以降の層を結晶性良く成長でき好ましい。またアンドープ GaN 層 3 の膜厚の上限は特に限定されないが、製造効率等を考慮して適宜調整される。また、アンドープ GaN 層 3 の膜厚が上記範囲であると、n 型コンタクト層 4 及び n 側第 1 多層膜層 5 との合計の膜厚を前記範囲に調整し静電耐圧を向上させる点で好ましい。

【0020】

次に、本発明において、n 型不純物を含む n 型コンタクト層 4 は、n 型不純物を $3 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以上、好ましくは $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以上の濃度で含有する。このように n 型不純物を多くドーブし、この層を n 型コンタクト層とすると、V_f 及び閾値を低下させることができる。不純物濃度が上記範囲を逸脱すると V_f が低下しにくくなる傾向がある。また、n 型コンタクト層 4 は、n 型不純物濃度が小さい結晶性の良好なアンドープ GaN 層 3 上に形成されると、高い濃度で n 型不純物を有しているにも関わらず結晶性を良好に形成することができる。n 型コンタクト層 4 の n 型不純物濃度の上限は特に限定しないが、コンタクト層としての機能を保持しうる限界としては $5 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ 以下が望ましい。

【0021】

n 型コンタクト層 4 の組成は、 $\text{In}_e\text{Al}_f\text{Ga}_{1-e-f}\text{N}$ ($0 \leq e$ 、 $0 \leq f$ 、 $e + f \leq 1$) で構成でき、その組成は特に問うものではないが、好ましくは GaN、f 値 0.2 以下の $\text{Al}_f\text{Ga}_{1-f}\text{N}$ とすると結晶欠陥の少ない窒化物半導体層が得られやすい。n 型コンタクト層 4 の膜厚は特に問うものではないが、n 電極を形成する層であるので好ましくは $0.1 \sim 20\text{ }\mu\text{m}$ 、より好ましくは $1 \sim 10\text{ }\mu\text{m}$ である。膜厚が上記範囲であると抵抗値を低くでき、発光素子の V_f を低くでき好ましい。更に n 型コンタクト層 4 の膜厚が上記範囲であると、アンドープ GaN 層 3 と n 側第 1 多層膜層 5 との膜厚を調整し静電耐圧を向上させる点で好ま

しい。

また、n型コンタクト層4は、後述のn側第1多層膜層5を厚膜に形成する場合、省略することができる。

【0022】

次に、本発明において、n側第1多層膜層5は、基板側から、アンドープの下層5a、n型不純物ドーパの間層5b、アンドープの上層5cの少なくとも3層から構成されている。n側第1多層膜層には上記下層5a～上層5c以外のその他の層を有していてもよい。またn側第1多層膜層5は、活性層と接していても、活性層の間に他の層を有していてもよい。n側にこのn側第1多層膜層5を有すると、発光出力と共に静電耐圧の向上の点で好ましい。このn側第1多層膜層5は、比較的、静電耐圧の向上に関与していると思われる。

これら下層5a～上層5cを構成する窒化物半導体としては、 $\text{In}_g\text{Al}_h\text{Ga}_{1-g-h}\text{N}$ ($0 \leq g < 1$, $0 \leq h < 1$) で表される種々の組成の窒化物半導体を用いることができ、好ましくはGaNからなる組成のものが挙げられる。また第1多層膜層5の各層は組成が同一でも異なってもよい。

【0023】

n側第1多層膜層5の膜厚は、特に限定されないが、175～12000オングストロームであり、好ましくは1000～10000オングストロームであり、より好ましくは2000～6000オングストロームである。第1多層膜層5の膜厚が上記範囲であるとV_fの最適化と静電耐圧の向上の点で好ましい。

更に、n側第1多層膜層5の膜厚が上記範囲であると、アンドープGaN層3とn型コンタクト層との膜厚を調整し静電耐圧を向上させる点で好ましい。

上記範囲の膜厚を有する第1多層膜層5の膜厚の調整は、下層5a、中間層5b、及び上層5cの各膜厚を適宜調整して、第1多層膜層5の総膜厚を上記の範囲とすることが好ましい。

【0024】

n側第1多層膜層5を構成する下層5a、中間層5b及び上層5cの各膜厚は、特に限定されないが、n側第1多層膜層5中で積層される位置により素子性能の諸特性に与える影響がやや異なるため、各層の素子性能に大きく関与する特性

に特に注目し、いずれか2層の膜厚を固定し、残りの1層の膜厚を段階的に変化させて、特性の良好な範囲の膜厚を測定し、更にn側第1多層膜層5の各層との調整により膜厚の範囲を特定している。

n側第1多層膜層5の各層は、各々静電耐圧に直接影響を及ぼさない場合もあるが、各層を組み合わせてn側第1多層膜層5とすることにより、全体として種々の素子特性が良好であると共に、特に発光出力及び静電耐圧が著しく良好となる。このような作用効果は、実際に、n側多層膜層5の各層を積層させてなる素子を製造して初めて得られるものといえる。各層の膜厚について以下に具体的に示すと共に、膜厚の変化による素子特性の変化の傾向について概略を示す。

【0025】

アンドープの下層5aの膜厚は、100～10000オングストローム、好ましくは500～8000オングストローム、より好ましくは1000～5000オングストロームである。アンドープの下層5aは、膜厚を徐々に厚くしていくと静電耐圧が上昇していくが、10000オングストローム付近でV_fが急上昇し、一方膜厚を薄くしていくと、V_fは低下していくが、静電耐圧の低下が大きくなり、100オングストローム未満では静電耐圧の低下に伴い歩留まりの低下が大きくなる傾向が見られる。また、下層5aは、n型不純物を含むn側コンタクト層4の結晶性の低下の影響を改善していると考えられるので、結晶性の改善が良好となる程度の膜厚で成長されるのが好ましい。

【0026】

n型不純物ドープの中間層5bの膜厚は、50～1000オングストローム、好ましくは100～500オングストローム、より好ましくは150～400オングストロームである。この不純物がドープされた中間層5bは、キャリア濃度を十分とさせて発光出力に比較的大きく作用する層であり、この層を形成させないと、形成した場合に比べて発光出力が低下する傾向がある。また、膜厚が1000オングストロームを超えると発光出力が商品となりにくい程度まで大きく低下する傾向がある。一方、静電耐圧のみを考慮すると、中間層5bの膜厚が厚いと静電耐圧は良好であるが、膜厚が50オングストローム未満では、膜厚が50オングストローム以上の場合に比べて、静電耐圧の低下が大きくなる傾向がある

【0027】

アンドープの上層 5c の膜厚は、25～1000 オングストローム、好ましくは 25～500 オングストローム、より好ましくは 25～150 オングストロームである。このアンドープの上層 5c は、第 1 多層膜の中で活性層に接して、あるいは最も接近して形成され、リーク電流の防止に大きく関与しているが、上層 5c の膜厚が 25 オングストローム未満ではリーク電流が増加する傾向がある。また、上層 5c の膜厚が 1000 オングストロームを超えると Vf が上昇し静電耐圧も低下する傾向がある。

【0028】

以上のように、下層 5a～上層 5c の各膜厚は、上記に示したように、各層の膜厚の変動により影響されやすい素子特性に注目し、更に、下層 5a、中間層 5b 及び上層 5c を組み合わせた際に、諸素子特性すべてがほぼ均一に良好となり、特に発光出力及び静電耐圧が良好となるように種々検討し、上記範囲に各膜厚を規定することにより、前記の本発明の p 側に形成された p 型不純物濃度の異なる 3 種の層と組み合わせると、良好な発光出力及び商品の信頼性の向上が達成することが可能な静電耐圧をより良好に得られる傾向がある。

また、第 1 多層膜層 5 の各層の膜厚の組み合わせは、本発明の p 型不純物濃度の異なる 3 種の層との関係や、発光波長の種類による活性層の組成の変化や、電極、LED 素子の形状など種々の条件により、最も良好な効果を得るために適宜調整される。

【0029】

上記第 1 多層膜層 5 を構成する各層の組成は、 $\text{In}_g\text{Al}_h\text{Ga}_{1-g-h}\text{N}$ ($0 \leq g < 1$ 、 $0 \leq h < 1$) で表される組成であればよく、各層の組成が同一でも異なってもよく、好ましくは In 及び Al の割合が小さい組成であり、より好ましくは結晶性及び Vf 低下の点から GaN または $\text{Al}_h\text{Ga}_{1-h}\text{N}$ 、さらに好ましくは GaN からなる層である。n 側第 1 多層膜層 5 が、 $\text{Al}_h\text{Ga}_{1-h}\text{N}$ である場合、Al 組成比が小さい方が結晶性及び Vf 低下の点で好ましく、 $0 \leq h < 1$ の範囲で適宜調整される。

【0030】

上記第1多層膜層5のn型不純物ドーブの中間層5bのn型不純物のドーブ量は、特に限定されないが、 $3 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上、好ましくは $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上の濃度で含有する。n型不純物の上限としては、特に限定されないが、結晶性が悪くなりすぎない程度の限界としては $5 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 以下が望ましい。第1多層膜層5の中間層の不純物濃度が上記範囲であると、発光出力の向上とVfの低下の点で好ましい。

n型不純物としてはSi、Ge、Se、S、O等の周期律表第IVB族、第VIB族元素を選択し、好ましくはSi、Ge、Sをn型不純物とする。

【0031】

また、上記第1多層膜層5の界面においては、それぞれの層及び素子の機能を害しない範囲で両方の層を兼ねる。

【0032】

また、上記n側第1多層膜層5に変えて、 $\text{In}_g\text{Al}_h\text{Ga}_{1-g-h}\text{N}$ ($0 \leq g < 1$, $0 \leq h < 1$)、好ましくはIn及びAlの割合が小さい組成、より好ましくは結晶性及びVf低下の点からGaNまたは $\text{Al}_h\text{Ga}_{1-h}\text{N}$ 、さらに好ましくはGaNからなる単一アンドープ層を形成してもよい。単一アンドープ層が $\text{Al}_h\text{Ga}_{1-h}\text{N}$ である場合、Al組成比が小さい方が結晶性及びVf低下の点で好ましく、 $0 \leq h < 1$ の範囲で適宜調整される。このように単一アンドープ層を形成すると、n側第1多層膜層5を形成した場合に比べてやや静電耐圧が低下する傾向があるが、ほぼ同様の素子特性を得ることができる。

単一アンドープ層の膜厚は、特に限定されないが、素子特性を良好とするために、1000～3000オングストロームが好ましい。

【0033】

次に、本発明において、n側第2多層膜層6は、Inを含む第3の窒化物半導体層と、その第3の窒化物半導体層と異なる組成を有する第4の窒化物半導体層とが積層されたn側多層膜層からなる。この第3の窒化物半導体層、または第4の窒化物半導体層の内の少なくとも一方の膜厚が、好ましくは両方の膜厚が、100オングストローム以下、より好ましくは70オングストローム以下、更に好

ましくは50オングストローム以下にする。このように膜厚を薄くすることにより、多層膜層が超格子構造となって、多層膜層の結晶性が良くなるので、出力が向上する傾向にある。

【0034】

第3又は第4の窒化物半導体の少なくとも一方の膜厚が、100オングストローム以下であっても、薄膜層が弾性臨界膜厚以下となって結晶が良くなり、その上に積層する第3の窒化物半導体層、若しくは第4の窒化物半導体層の結晶性が良くなり、多層膜層全体の結晶性が良くなるため、素子の出力が向上する。

【0035】

また、第3及び第4の窒化物半導体の膜厚が、共に100オングストローム以下であると、窒化物半導体単一層の弾性臨界膜厚以下となり、厚膜で成長させる場合や、第3又は第4の窒化物半導体の一方が100オングストローム以下の場合に比較して結晶性の良い窒化物半導体が成長できる。また、両方を70オングストローム以下にすると、n側第2多層膜層6が超格子構造となり、この結晶性の良い多層膜構造の上に活性層を成長させると、n側第2多層膜層6がバッファ層のような作用をして、活性層がより結晶性よく成長できる。

【0036】

本発明において、n側窒化物半導体層に、前記n側第1多層膜層と上記n側第2多層膜層とを組み合わせ、さらに本発明の上記のp型不純物濃度の異なる3種の層と組み合わせると、発光出力の向上、Vfの低下の点で好ましい。この理由は定かではないが、n側第2多層膜層上に成長させる活性層の結晶性が良好となるためと考えられる。

【0037】

また、n側第2多層膜層6の前記第3の窒化物半導体層または前記第4の窒化物半導体層の内の少なくとも一方の膜厚は、近接する第3の窒化物半導体層または第4の窒化物半導体層同士で互いに異なっても、同一でもよい。好ましくは、第3の窒化物半導体層または第4の窒化物半導体層の内の少なくとも一方の膜厚が、近接する第3の窒化物半導体層、または第4の窒化物半導体層同士で互いに異なっていることが好ましい。

膜厚が近接する層同士で互いに異なるとは、第3の窒化物半導体層及び第4の窒化物半導体層を複数層積層した多層膜層を形成した場合に、第4の窒化物半導体層（第3の窒化物半導体層）の膜厚とそれを挟んだ第3の窒化物半導体層（第4の窒化物半導体層）の膜厚とが互いに異なることを意味する。

例えば、第3の窒化物半導体層を InGaN とし、第4の窒化物半導体層を GaN とした場合、 GaN 層と GaN 層との間の InGaN 層の膜厚を、活性層に接近するに従って次第に厚くしたり、また薄くしたりすることにより、多層膜層内部において屈折率が変化するため、実質的に屈折率が次第に変化する層を形成することができる。即ち、実質的に組成傾斜した窒化物半導体層を形成するのと同じ効果が得られる。このため例えばレーザ素子のような光導波路を必要とする素子においては、この多層膜層で導波路を形成して、レーザ光のモードを調整できる。

【0038】

また、第3、または第4の窒化物半導体層の内の少なくとも一方のIII族元素の組成を、近接する第3または第4の窒化物半導体層の同一III族元素の組成同士で互いに異なる、又は同一でもよい。好ましくは、第3の窒化物半導体層、または第4の窒化物半導体層の内の少なくとも一方のIII族元素の組成が、近接する第3の窒化物半導体層または第4の窒化物半導体層の同一III族元素の組成同士で互いに異なる。この互いに異なるとは、第3の窒化物半導体層または第4の窒化物半導体層を複数層積層した多層膜層を形成した場合に、第4の窒化物半導体層（第3の窒化物半導体層）のIII族元素の組成比とそれを挟んだ第3の窒化物半導体層（第4の窒化物半導体層）のIII族元素の組成比とが互いに異なることを意味する。

【0039】

例えば、同一III族元素の組成同士で互いに異ならせると、第3の窒化物半導体層を InGaN とし、第4の窒化物半導体層を GaN とした場合、 GaN 層と GaN 層との間の InGaN 層の In 組成を活性層に接近するに従って次第に多くしたり、また少なくしたりすることにより、多層膜層内部において屈折率を変化させて、実質的に組成傾斜した窒化物半導体層を形成することができる。なお

In組成が減少するに従い、屈折率は小さくなる傾向にある。

【0040】

上記のn側第2多層膜層6は、例えば、図1に示すように、活性層7を挟んで下部にあるn側窒化物半導体層に、Inを含む第3の窒化物半導体層と、その第3の窒化物半導体層と異なる組成を有する第4の窒化物半導体層とが積層されたn側第2多層膜層6を有している。n側第2多層膜層6において、第3の窒化物半導体層、第4の窒化物半導体層はそれぞれ少なくとも一層以上形成し、合計で2層以上、好ましくは3層以上、さらに好ましくはそれぞれ少なくとも2層以上積層し合計で4層以上積層することが望ましい。

【0041】

n側第2多層膜層6は、活性層と離間して形成されていても良いが、最も好ましくは活性層に接して形成されているようにする。活性層に接して形成する方がより出力が向上しやすい傾向にある。

n側第2多層膜層6が活性層に接して形成されている場合、活性層の最初の層（井戸層、若しくは障壁層）と接する多層膜層は第3の窒化物半導体層でも、第4の窒化物半導体層いずれでも良く、n側第2多層膜層6の積層順序は特に問うものではない。なお、図1ではn側第2多層膜層6が、活性層7に接して形成されているが、このn側第2多層膜層6と活性層との間に、他のn型窒化物半導体よりなる層を有していても良い。

【0042】

第3の窒化物半導体層はInを含む窒化物半導体、好ましくは3元混晶の $\text{In}_k\text{Ga}_{1-k}\text{N}$ ($0 < k < 1$) とし、さらに好ましくはk値が0.5以下の $\text{In}_k\text{Ga}_{1-k}\text{N}$ 、最も好ましくはk値が0.2以下の $\text{In}_k\text{Ga}_{1-k}\text{N}$ とする。一方、第4の窒化物半導体層は第3の窒化物半導体層と組成が異なる窒化物半導体であれば良く、特に限定しないが、結晶性の良い第4の窒化物半導体を成長させるためには、第3の窒化物半導体よりもバンドギャップエネルギーが大きい2元混晶あるいは3元混晶の $\text{In}_m\text{Ga}_{1-m}\text{N}$ ($0 \leq m < 1$, $m < k$) を成長させ、好ましくはGaNである。第4の窒化物半導体をGaNとすると、全体に結晶性の良い多層膜層が成長できる。好ましい組み合わせとしては、第3の窒化物半導体をIn

$k\text{Ga}_{1-k}\text{N}$ ($0 < k < 1$) とし、第4の窒化物半導体を $\text{In}_m\text{Ga}_{1-m}\text{N}$ ($0 \leq m < 1$, $m < k$)、好ましくは GaN とする組み合わせが挙げられる。更に好ましい組み合わせとしては、第3の窒化物半導体層の k 値が 0.5 以下の $\text{In}_k\text{Ga}_{1-k}\text{N}$ であり、第4の窒化物半導体層が GaN との組み合わせである。

【0043】

第3および第4の窒化物半導体層は両方ともアンドープでも、両方に n 型不純物がドーピングされていても、またいずれか一方に不純物がドーピング（変調ドーピング）されていてもよい。結晶性を良くするためには、両方がアンドープであることが最も好ましく、次に変調ドーピング、その次に両方ドーピングの順である。なお両方に n 型不純物をドーピングする場合、第3の窒化物半導体層の n 型不純物濃度と、第4の窒化物半導体層の n 型不純物濃度は異なっても良い。

また、第3の窒化物半導体層または第4の窒化物半導体層のいずれか一方に、 n 型不純物がドーピングされていることを変調ドーピングと呼ぶが、このような変調ドーピングをすることにより、出力が向上しやすい傾向を有する。

【0044】

なお n 型不純物としては、 Si 、 Ge 、 Sn 、 S 等の IV 族、VI 族元素を好ましく選択し、さらに好ましくは Si 、 Sn を用いる。

n 型不純物をドーピングする場合、不純物濃度は $5 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ 以下、好ましくは $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 以下に調整する。 $5 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ よりも多いと窒化物半導体層の結晶性が悪くなって、逆に出力が低下する傾向にある。これは変調ドーピングの場合も同様である。

【0045】

本発明において、多重量子井戸構造の活性層 7 は、 In 及び Ga を含有する窒化物半導体、好ましくは、 $\text{In}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ ($0 \leq a < 1$) で形成され、 n 型、 p 型いずれでもよいが、アンドープ（不純物無添加）とすることにより強いバンド間発光が得られ発光波長の半値幅が狭くなり好ましい。活性層 7 に n 型不純物及び／又は p 型不純物をドーピングしてもよい。活性層 7 に n 型不純物をドーピングするとアンドープのものに比べてバンド間発光強度をさらに強くすることができる。活性層 7 に p 型不純物をドーピングするとバンド間発光のピーク波長よりも約 0.5 e

V低いエネルギー側にピーク波長をシフトさせることができるが、半値幅は広くなる。活性層にp型不純物とn型不純物との双方をドーピングすると、前述したp型不純物のみドーピングした活性層の発光強度をさらに大きくすることができる。特にp型ドーパントをドーピングした活性層を形成する場合、活性層の導電型はSi等のn型ドーパントをもドーピングして全体をn型とすることが好ましい。結晶性のよい活性層を成長させるには、ノンドーピングが最も好ましい。

【0046】

活性層7の障壁層と井戸層との積層順は、特に問わず、井戸層から積層して井戸層で終わる、井戸層から積層して障壁層で終わる、障壁層から積層して障壁層で終わる、また障壁層から積層して井戸層で終わっても良い。井戸層の膜厚としては100オングストローム以下、好ましくは70オングストローム以下、さらに好ましくは50オングストローム以下に調整する。井戸層の膜厚の上限は、特に限定されないが、1原子層以上、好ましくは10オングストローム以上である。井戸層が100オングストロームよりも厚いと、出力が向上しにくい傾向にある。

一方、障壁層の厚さは2000オングストローム以下、好ましくは500オングストローム以下、より好ましくは300オングストローム以下に調整する。障壁層の膜厚の上限は特に限定されないが、1原子層以上、好ましくは10オングストローム以上である。障壁層が上記範囲であると出力が向上し易く好ましい。また、活性層7全体の膜厚はとくに限定されず、LED素子などの希望の波長等を考慮して、障壁層及び井戸層の各積層数や積層順を調整し活性層7の総膜厚を調整する。

【0047】

本発明において、p型クラッド層8は、前記したようにp型低濃度ドーピング層9とp型コンタクト層10との中間の濃度（中濃度ドーピング）となるように、p型不純物を含有してなる多層膜又は単一膜で構成される。

まず、p型クラッド層8が多層膜構造（超格子構造）である場合（p型多層膜層）について以下に説明する。以下多層膜からなるp型クラッド層を多層膜p型クラッド層とする。

多層膜 p 型クラッド層を構成する多層膜としては、A1 を含む第 1 の窒化物半導体層と、その第 1 の窒化物半導体層と組成の異なる第 2 の窒化物半導体層とが積層され、さらに第 1 の窒化物半導体層及び第 2 の窒化物半導体層の少なくとも一方に p 型不純物を含有してなるものである。以下、第 1 の窒化物半導体層と第 2 の窒化物半導体層との組成が異なることを、バンドギャップエネルギーが異なるとして説明する。

本発明において、多層膜 p 型クラッド層 8 は、バンドギャップエネルギーの大きな第 1 の窒化物半導体層と、第 1 の窒化物半導体層よりもバンドギャップエネルギーの小さな第 2 の窒化物半導体層とが積層されてなるものが挙げられる。第 1 の窒化物半導体層及び第 2 の窒化物半導体層の少なくとも一方に p 型不純物が含有され、これら第 1 の窒化物半導体層と第 2 の窒化物半導体層との p 型不純物濃度は、異なっても同一でもよい。

【0048】

多層膜 p 型クラッド層 8 の多層膜を構成する第 1、第 2 の窒化物半導体層の膜厚は、100 オングストローム以下、さらに好ましくは 70 オングストローム以下、最も好ましくは 10～40 オングストロームの膜厚に調整され、第 1 窒化物半導体層と第 2 の窒化物半導体層との膜厚は、同一でも異なってもよい。多層膜構造の各膜厚が上記範囲であると、窒化物半導体の弾性臨界膜厚以下となり、厚膜で成長させる場合に比較して結晶性の良い窒化物半導体が成長でき、また窒化物半導体層の結晶性が良くなるので、p 型不純物を添加した場合にキャリア濃度が大きく抵抗率の小さい p 層が得られ、素子の V_f、しきい値が低下し易い傾向にある。このような膜厚の 2 種類の層を 1 ペアとして複数回積層して多層膜層を形成する。また、一方の層を他方の層より 1 層多く積層してもよく、例えば、第 1 の窒化物半導体層から積層し、第 1 の窒化物半導体層で終わってもよい。

そして、多層膜 p 型クラッド層 8 の総膜厚の調整は、この第 1 及び第 2 の窒化物半導体層の各膜厚を調整し積層回数を調整することにより行う。多層膜 p 型クラッド層 8 の総膜厚は、特に限定されないが、2000 オングストローム以下、好ましくは 1000 オングストローム以下、より好ましくは 500 オングストローム以下であり、総膜厚がこの範囲であると発光出力が高く、V_f が低下し好ま

しい。

第1の窒化物半導体層は少なくともAlを含む窒化物半導体、好ましくは $Al_nGa_{1-n}N$ ($0 < n \leq 1$) を成長させることが望ましく、第2の窒化物半導体は好ましくは $Al_pGa_{1-p}N$ ($0 \leq p < 1$, $n > p$)、 $In_rGa_{1-r}N$ ($0 \leq r \leq 1$) のような2元混晶、3元混晶の窒化物半導体を成長させることが望ましい。
p型クラッド層8が、このような第1の窒化物半導体層及び第2の窒化物半導体層からなる多層膜層である場合、p型多層膜層のAl組成比は平均の値である。
また、後述のp型低濃度ドープ層9が $Al_sGa_{1-s}N$ ($0 < s < 0.5$) よりなり場合、多層膜p型クラッド層のAl組成比は、p型低濃度ドープ層9のAl組成比より、高くなるように調整されることが良好な静電耐圧等を得る点で好ましい。

p型クラッド層8を超格子構造とすると、結晶性が良くなり、抵抗率が低下しVfが低下する傾向がある。

【0049】

中濃度ドープの多層膜p型クラッド層8のp型不純物濃度について以下に説明する。

多層膜p型クラッド層を構成する第1の窒化物半導体層と第2の窒化物半導体層のp型不純物濃度は、異なっても、同一でもよく、まず異なる場合について以下に示す。

多層膜p型クラッド層8の第1の窒化物半導体層と第2の窒化物半導体層とのp型不純物濃度が異なる場合、一方の層の不純物濃度を高く、もう一方の層の不純物濃度を低くする。この場合、バンドギャップエネルギーの大きな第1の窒化物半導体層の方のp型不純物濃度を高くして、バンドギャップエネルギーの小さな第2の窒化物半導体層のp型不純物濃度を低く、好ましくはアンドープとすると、閾値電圧、Vf（順方向電圧）等を低下させることができる。またその逆でも良く、バンドギャップエネルギーの大きな第1の窒化物半導体層のp型不純物濃度を小さくして、バンドギャップエネルギーの小さな第2の窒化物半導体層のp型不純物濃度を大きくしても良い。

このようにp型不純物濃度の異なる第1の窒化物半導体層と第2の窒化物半導

体層とを形成すると、キャリア濃度の高い層と移動度の高い層とを同時に多層膜 p 型クラッド層に存在させることができ、上記のように閾値電圧や V_f 等を低下させることができるものと考えられる。

【0050】

p 型不純物濃度の異なる場合の第 1 の窒化物半導体層の p 型不純物の濃度は、p 型クラッド層を多層膜とした場合に p 型不純物濃度が低濃度ドープ層 9 より高く p 型コンタクト層 10 より低くなるように調整された値であれば特に限定されない。例えば具体的な第 1 の窒化物半導体層の p 型不純物濃度としては、好ましくは $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 、より好ましくは $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ の範囲で調整する。

第 1 の窒化物半導体層の p 型不純物濃度が $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上であると、活性層へのキャリアの注入効率が良好となり、発光出力が向上し、 V_f が低下する傾向にあり、また $1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 以下であると、結晶性を良好とし易くなる傾向にある。

【0051】

一方、第 1 の窒化物半導体層と第 2 の窒化物半導体層の p 型不純濃度が異なる場合の第 2 の窒化物半導体層の p 型不純物濃度としては、第 1 の窒化物半導体層よりも少なく、p 型クラッド層全体として p 型低濃度ドープ層 9 と p 型コンタクト層 10 との不純物濃度の中間の濃度を示すように調整させることが好ましい。

具体的な第 2 の窒化物半導体層の p 型不純物濃度としては、特に限定されないが、好ましくは上記第 1 の窒化物半導体層の p 型不純物濃度の $1/10$ 以下が望ましく、より好ましくはアンドープとすると最も移動度の高い層が得られる。しかし、第 2 の窒化物半導体層の膜厚が薄いため、第 1 の窒化物半導体側から拡散してくる p 型不純物があり、第 2 の窒化物半導体層の移動度を考慮する場合は、拡散してくる p 型不純物の量は $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 以下が望ましい。

また、バンドギャップエネルギーが大きい第 1 の窒化物半導体層に p 型不純物を少なくドープして、バンドギャップエネルギーが小さい第 2 の窒化物半導体層に p 型不純物を多くドープする場合も同様である。

【0052】

次に、第1の窒化物半導体層と第2の窒化物半導体層のp型不純物濃度が同一の場合のp型不純物の濃度について以下に示す。

この場合の第1の窒化物半導体層及び第2の窒化物半導体層のp型不純物濃度は、p型低濃度ドーブ層9とp型コンタクト層10のp型不純物濃度に対して、中濃度ドーブの層となるように調整されていればよく、例えば具体的には、上記第1と第2の窒化物半導体層のp型不純物濃度が異なる場合の第1の窒化物半導体層にドーブされる不純物濃度と同様の範囲の値である。このようにp型不純物を第1と第2の窒化物半導体層との濃度が同一となるようにドーブすると、上記の濃度が異なる場合に比べて、やや結晶性の劣る傾向があるが、キャリア濃度の高いp型クラッド層8を形成し易くなり、出力向上の点で好ましい。

【0053】

上記p型クラッド層にドーブされるp型不純物としては、Mg、Zn、Ca、Be等の周期律表第IIA族、IIB族元素を選択し、好ましくはMg、Ca等をp型不純物とする。

【0054】

また上記の中濃度ドーブの多層膜p型クラッド層を構成する隣接している窒化物半導体層同士（第1と第2の窒化物半導体層）のp型不純物濃度が異なる場合、p型不純物が高濃度にドーブされる窒化物半導体層は、厚さ方向に対し、窒化物半導体層中心部近傍の不純物濃度が大きく、両端部近傍の不純物濃度が小さい（好ましくはアンドープ）とすることが、抵抗率を低下させるのに望ましい。

【0055】

次に、中濃度ドーブのp型クラッド層8が、p型不純物を含む $Al_bGa_{1-b}N$ ($0 \leq b \leq 1$) よりなる単一層からなる場合について以下に説明する。以下単一膜からなるp型クラッド層を単一膜p型クラッド層とする。

本発明において、単一膜p型クラッド層8は、上記の如く $Al_bGa_{1-b}N$ ($0 \leq b \leq 1$) よりなる窒化物半導体である。また後述のp型低濃度ドーブ層9が、 $Al_sGa_{1-s}N$ ($0 < s < 0.5$) よりなり場合、単一膜p型クラッド層8のAl組成比は、p型低濃度ドーブ層9のAl組成比より高くなるように調整されることが良好な静電耐圧等を得る点で好ましい。

【0056】

単一膜 p 型クラッド層 8 の膜厚は、特に限定されないが、好ましくは 2000 オングストローム以下、より好ましくは 1000 オングストローム以下であり、さらに好ましくは 500 ～ 1000 オングストロームである。膜厚が上記範囲であると、発光出力が向上し、Vf が低下し好ましい。

【0057】

単一膜 p 型クラッド層 8 の p 型不純物の濃度としては、上記多層膜 p 型クラッド層の場合と同様に中濃度ドーピングとなるように、好ましくは $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ ～ $1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 、より好ましくは $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ～ $5 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ の範囲で調整する。不純物濃度が上記範囲であると、良好な p 型膜ができ、中濃度ドーピングの単一膜 p 型クラッド層となり、発光出力の向上の点で好ましい。

また、単一膜 p 型クラッド層 8 は、前記多層膜構造の p 型クラッド層に比べ、結晶性はやや劣るもののほぼ同様に良好となり、またこの単一膜 p 型クラッド層 8 は、単一膜であるので製造工程の簡易化が可能となり、量産する場合に好ましい。

【0058】

次に、本発明において、p 型不純物を低濃度でドーピングした p 型低濃度ドーピング層 9 としては、特に限定されないが、 $\text{In}_r\text{Al}_s\text{Ga}_{1-r-s}\text{N}$ ($0 \leq r < 1$, $0 \leq s < 1$, $r + s < 1$) からなる窒化物半導体が挙げられ、好ましくは 3 元混晶、2 元混晶の $\text{In}_r\text{Ga}_{1-r}\text{N}$ 又は $\text{Al}_s\text{Ga}_{1-s}\text{N}$ の窒化物半導体、より好ましくは結晶性の点から GaN よりなる窒化物半導体、又は $\text{Al}_s\text{Ga}_{1-s}\text{N}$ ($0 < s < 0.5$) よりなり且つ Al 組成比が前記 p 型多層膜層の平均の Al 組成比又は p 型単一膜層の Al 組成比 (p 型クラッド層 8 の Al 組成比) より小さい窒化物半導体を挙げることができる。 $\text{Al}_s\text{Ga}_{1-s}\text{N}$ の s の値が、 $0 < s < 0.5$ の範囲であると、順方向電圧 (Vf) の上昇を抑え、良好な発光出力及び静電耐圧を得る点で好ましい。

上記のように p 型低濃度ドーピング層 9 が GaN であるとより結晶性が良好となり、良好な静電耐圧を得る点で好ましい。また p 型低濃度ドーピング層が $\text{Al}_s\text{Ga}_{1-s}\text{N}$ ($0 < s < 0.5$) よりなり且つ Al 組成比が p 型クラッド層 8 の Al 組成比

より小さい窒化物半導体であると、p型低濃度ドーブ層9の膜厚を、例えばp型低濃度ドーブ層がGaNの場合の膜厚より、薄くしても同様の効果を得ることができ、製造時間の短縮が可能となる。

【0059】

本発明において、p型低濃度ドーブ層9の膜厚は、特に限定されないが、好ましくは100～10000オングストローム、より好ましくは500～8000オングストローム、さらに好ましくは1000～4000オングストロームである。膜厚が上記範囲であると、良好な発光出力と共に、良好な静電耐圧を得る点で好ましい。

また、p型低濃度ドーブ層9が $Al_sGa_{1-s}N$ ($0 < s < 0.5$) よりなり且つAl組成比がp型クラッド層8のAl組成比より小さい窒化物半導体である場合の膜厚としては、上記範囲で適宜調整されていればよく、特に好ましくは、300～5000オングストローム、より好ましくは300～3000オングストロームである。このように膜厚を薄くしても良好な効果を得ることができる。

【0060】

本発明において、p型低濃度ドーブ層9のp型不純物濃度は、上記したようにp型クラッド層8及びp型コンタクト層10のp型不純物濃度より低くなるように調整されていればよい。このp型低濃度ドーブ層9のp型不純物濃度の調整は、特に限定されないが、好ましくは成長の際にはアンドープの層として成長させ、隣接層のp型クラッド層8及びp型コンタクト層10から拡散されるp型不純物により調整される。このようにp型低濃度ドーブ層9に隣接する層からの拡散されるp型不純物によりp型低濃度ドーブ層9のp型不純物濃度が調整されると、上記したようにp型クラッド層8、p型低濃度ドーブ層9、及びp型コンタクト層10との3層間でのp型不純物濃度の関係が、中濃度ドーブ、低濃度ドーブ、高濃度ドーブとなるように調整し易くなり好ましい。また、本発明のp型低濃度ドーブ層9のp型不純物濃度の調整は、p型低濃度ドーブ層9の成長の際に不純物をドーブして成長させてもよい。

【0061】

本発明のp型低濃度ドーブ層9のp型不純物の濃度の調整が上記のように隣接

の層からの拡散による場合、p型低濃度ドーブ層9内のp型不純物濃度は低濃度ドーブ層9内で図2に示すように変動している。また、p型低濃度ドーブ層9の成長の際に不純物をドーブして成長させる場合も、相対的な濃度変化の値は異なるが、ほぼ図2と同様にp型クラッド層に近接している部分から徐々に濃度が減少し、p型コンタクト層に近接している部分の濃度が最も低くなる傾向がある。

p型低濃度ドーブ層9をアンドープとして成長させる場合を例にして、p型低濃度ドーブ層9内のp型不純物濃度の変化の様子の概略を図2を用いて説明する。図2は、縦軸にp型不純物の濃度、横軸にp型コンタクト層10、p型低濃度ドーブ層、p型クラッド層へと、p側層の表面からn側層に向かって素子構造を構成する層の変化の様子（横軸の長さはほぼ実施例1の各膜厚の相対的な膜厚を示す。）を示し、実施例1の中濃度ドーブのp型クラッド層8、低濃度ドーブのp型低濃度ドーブ層9、及び高濃度ドーブのp型コンタクト層10のMg濃度の分布の状態を概略的に示す模式的なグラフである。

【0062】

図2に示すように、p型クラッド層8のMg濃度、p型低濃度ドーブ層9のMgの最低濃度、及びp型コンタクト層10のMg濃度との関係が、中濃度、低濃度、高濃度となっている。そして、p型低濃度ドーブ層9内ではMg濃度の分布は、p型クラッド層8に接近している部分では、ほぼp型クラッド層8のMg濃度と同様の値を示すが、p型クラッド層8から離れるに従って徐々に濃度が減少し、高濃度ドーブのp型コンタクト層10と接近している付近では、p型低濃度ドーブ層9のMg濃度が最も低くなる。しかし、p型低濃度ドーブ層9上に、p型コンタクト層10を成長させ始めると、図2に示すように、Mg濃度が急上昇しp型コンタクト層10のMg濃度の値となる。このような低濃度ドーブ層9のMg濃度の変化は、低濃度ドーブ層9が成長時にはアンドープとして成長され、その成長時や隣接層の成長の際に、隣接層から拡散によりp型不純物が低濃度ドーブ層9に混入するためと思われる。

このように、p型コンタクト層10とp型クラッド層8のp型不純物濃度よりも、低濃度ドーブの層としてp型低濃度ドーブ層9を、p型コンタクト層10とp型クラッド層8との間に形成することにより、発光出力の向上と共に、静電耐

圧を良好にすることができる。

上記のように p 型不純物の濃度の関係を形成するために、p 型クラッド層の p 型不純物の濃度と、p 型コンタクト層の p 型不純物の濃度を調整し、p 型低濃度ドーピング層 9 の p 型不純物の最低の濃度を調整する。

【0063】

低濃度ドーピング層 9 の p 型不純物濃度（但し、低濃度ドーピング層 9 内の最も p 型不純物濃度の低い部分の濃度を示す。）としては、上記のように隣接する層との p 型不純物濃度の関係が形成されているならば特に限定されないが、好ましくは $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 未満、好ましくは $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下である。p 型不純物濃度の下限値は特に限定されず、アンドープであってもよく、p 型クラッド層 8 の p 型不純物濃度と p 型低濃度ドーピング層 9 の膜厚とにより、低濃度ドーピング層 9 の最低の p 型不純物濃度が変動し、例えば $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上が好ましい。p 型不純物濃度が上記範囲であると、静電耐圧や発光出力の点で好ましい。

p 型低濃度ドーピング層 9 の p 型不純物濃度の調整は、上記したように、成長の際にアンドープとして成長させたり、低濃度となるように不純物の濃度を調整しながら成長させることで調整する。しかし、p 型クラッド層の p 型不純物濃度が同一でも、例えば p 型低濃度ドーピング層の膜厚が厚くなると p 型低濃度ドーピング層の最低濃度値が低くなったりする。このように、p 型低濃度ドーピング層の不純物濃度は、隣接層の濃度や、成長温度、膜厚、成長レート等によって変動する傾向があるが、少なくとも p 型クラッド層及び p 型コンタクト層よりも低濃度となるように適宜最適条件を選択し調整される。

【0064】

次に、本発明において、p 型不純物の高濃度ドーピングの p 型コンタクト層 10 としては、上記低濃度ドーピング層 9 と同様に、 $\text{In}_r\text{Al}_s\text{Ga}_{1-r-s}\text{N}$ ($0 \leq r < 1$ 、 $0 \leq s < 1$ 、 $r + s < 1$) からなる窒化物半導体が挙げられ、好ましくは 3 元混晶の窒化物半導体、より好ましくは In、Al を含まない二元混晶の GaN からなる窒化物半導体である。このように、4 元混晶より 3 元混晶、3 元混晶より In と Al と含まない GaN であると、結晶性が良好となり好ましい。更に In、Al を含まない 2 元混晶であると、p 電極 11 とのオーミック接触がより良好

となり、発光効率が向上する傾向があり好ましい。

p型コンタクト層10の膜厚は、0.001~0.5 μm 、好ましくは0.01~0.3 μm 、より好ましくは0.05~0.2 μm である。膜厚が上記範囲であると、Vfの低下及び静電耐圧の向上の点で好ましい。

【0065】

また、高濃度ドーパのp型コンタクト層10のp型不純物としては、上記の種々のp型不純物を用いることができ、好ましくはMgである。p型不純物がMgであると、p型特性が得られ易く、またオーミック接触が得られ易くなる傾向がある。p型コンタクト層10の不純物濃度は、特に限定されず、上記のように、p型クラッド層8と低濃度ドーパ層9のp型不純物濃度より高くなればよく、例えば具体的な値として、好ましくは、 $1 \times 10^{18} \sim 5 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 、好ましくは $5 \times 10^{19} \sim 3 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 、より好ましくは $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 程度である。p型不純物濃度がこの範囲であるとVfの低下の点で好ましい。

【0066】

また、n電極12はn側コンタクト層4上に、p電極はp型不純物の高濃度ドーパのp側コンタクト層10上に、それぞれ形成されている。n電極及びp電極の材料としては特に限定されず、例えばn電極としてはW/A1、p電極としてはNi/Auなどを用いることができる。

【0067】

【実施例】

以下に本発明の一実施の形態である実施例を示すが、本発明はこれに限定されない。

〔実施例1〕

図1を元に実施例1について説明する。

サファイア（C面）よりなる基板1をMOVPEの反応容器内にセットし、水素を流しながら、基板の温度を1050℃まで上昇させ、基板のクリーニングを行う。

【0068】

（バッファ層2）

続いて、温度を510℃まで下げ、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニアとTMG（トリメチルガリウム）とを用い、基板1上にGa₂Nよりなるバッファ層2を約100オングストロームの膜厚で成長させる。

【0069】

（アンドープGa₂N層3）

バッファ層2成長後、TMGのみ止めて、温度を1050℃まで上昇させる。1050℃になったら、同じく原料ガスにTMG、アンモニアガスを用い、アンドープGa₂N層3を1.5μmの膜厚で成長させる。

【0070】

（n型コンタクト層4）

続いて1050℃で、同じく原料ガスにTMG、アンモニアガス、不純物ガスにシランガスを用い、Siを $4.5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたGa₂Nよりなるn型コンタクト層4を2.265μmの膜厚で成長させる。

【0071】

（n型第1多層膜層5）

次にシランガスのみを止め、1050℃で、TMG、アンモニアガスを用い、アンドープGa₂Nからなる下層5aを2000オングストロームの膜厚で成長させ、続いて同温度にてシランガスを追加しSiを $4.5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたGa₂Nからなる中間層5bを300オングストロームの膜厚で成長させ、更に続いてシランガスのみを止め、同温度にてアンドープGa₂Nからなる上層5cを50オングストロームの膜厚で成長させ、3層からなる総膜厚2350オングストロームの第1多層膜層5を成長させる。

【0072】

（n型第2多層膜層6）

次に、同様の温度で、アンドープGa₂Nよりなる第4の窒化物半導体層を40オングストローム成長させ、次に温度を800℃にして、TMG、TMI、アンモニアを用い、アンドープIn_{0.13}Ga_{0.87}Nよりなる第3の窒化物半導体層を20オングストローム成長させる。そしてこれらの操作を繰り返し、第4+第3の順で交互に10層ずつ積層させ、最後にGa₂Nよりなる第4の窒化物半導体層

を40オングストローム成長させた超格子構造の多層膜よりなるn型第2多層膜層6を640オングストロームの膜厚で成長させる。

【0073】

(活性層7)

次に、アンドープGaNよりなる障壁層を200オングストロームの膜厚で成長させ、続いて温度を800℃にして、TMG、TMI、アンモニアを用いアンドープ $\text{In}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{N}$ よりなる井戸層を30オングストロームの膜厚で成長させる。そして障壁+井戸+障壁+井戸・・・+障壁の順で障壁層を5層、井戸層を4層、交互に積層して、総膜厚1120オングストロームの多重量子井戸構造よりなる活性層7を成長させる。

【0074】

(中濃度ドーブの多層膜p型クラッド層8)

次に、温度1050℃でTMG、TMA、アンモニア、 Cp_2Mg （シクロペンタジエニルマグネシウム）を用い、Mgを $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドーブしたp型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる第1の窒化物半導体層を40オングストロームの膜厚で成長させ、続いて温度を800℃にして、TMG、TMI、アンモニア、 Cp_2Mg を用いMgを $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドーブした $\text{In}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ よりなる第2の窒化物半導体層を25オングストロームの膜厚で成長させる。そしてこれらの操作を繰り返し、第1+第2の順で交互に5層ずつ積層し、最後に第1の窒化物半導体層を40オングストロームの膜厚で成長させた超格子構造の多層膜よりなるp側多層膜クラッド層8を365オングストロームの膜厚で成長させる。

【0075】

(低濃度ドーブのp型低濃度ドーブ層9)

続いて、1050℃で、TMG、アンモニアを用い、アンドープのGaNよりなるp型低濃度ドーブ層9を2000オングストロームの膜厚で成長させる。この低濃度ドーブ層9は、成長時はアンドープとして成長させるが、中濃度ドーブの多層膜p型クラッド層8にドーブされているMgが、低濃度ドーブ層9が成長する間に拡散し、さらに下記の高濃度ドーブのp型コンタクト層10を成長させる際にMgが拡散し、低濃度ドーブ層9はp型を示す。

この低濃度ドーブ層 9 の Mg 濃度は、最も濃度が低い部分では、 $2 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ となる。また低濃度ドーブ層 9 の Mg 濃度の変化は、図 2 に示すように、p 型クラッド層 8 に接している部分では p 型クラッド層の Mg 濃度とほぼ同様の値を示すが、p 型クラッド層 8 から離れるに従い徐々に減少し、p 型コンタクト層 10 と接近している付近（p 型コンタクト層 10 を成長させる直前）での Mg 濃度がほぼ最低値を示す。

【0076】

（高濃度ドーブの p 型コンタクト層 10）

続いて、 1050°C で、TMG、アンモニア、 Cp_2Mg を用い、Mg を $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドーブした GaN よりなる p 型コンタクト層 10 を 1200 オングストロームの膜厚で成長させる。

【0077】

反応終了後、温度を室温まで下げ、さらに窒素雰囲気中、ウェーハを反応容器内において、 700°C でアニーリングを行い、p 型層をさらに低抵抗化する。

【0078】

アニーリング後、ウェーハを反応容器から取り出し、最上層の p 型コンタクト層 10 の表面に所定の形状のマスクを形成し、RIE（反応性イオンエッチング）装置で p 型コンタクト層 10 側からエッチングを行い、図 1 に示すように n 型コンタクト層 4 の表面を露出させる。

【0079】

エッチング後、最上層にある p 型コンタクト層 10 のほぼ全面に膜厚 200 オングストロームの Ni と Au を含む透光性の p 電極 11 と、その p 電極 10 の上にボンディング用の Au よりなる p パッド電極 12 を $0.5 \mu\text{m}$ の膜厚で形成する。一方、エッチングにより露出させた n 型コンタクト層 4 の表面には W と Al を含む n 電極 12 を形成して LED 素子とした。

【0080】

この LED 素子は順方向電流 20 mA において、 520 nm の純緑色発光を示し、 V_f は 3.5 V で、従来の多重量子井戸構造の LED 素子に比較して、 V_f で 1.0 V 近く低下し、出力は 2.0 倍以上に向上した。更に、得られた LED

の静電耐圧をLED素子のn層及びp層の各電極より逆方向に徐々に電圧を加え測定したところ、従来の1.5倍以上となり、また順方向に電圧を加えたところ、従来の2倍以上となり良好な結果が得られた。

【0081】

なお、従来のLED素子の構成は、GaNよりなる第1のバッファ層の上に、アンドープGaNよりなる第2のバッファ層、SiドープGaNよりなるn側コンタクト層、実施例1と同一の多重量子井戸構造よりなる活性層、単一のMgドープ $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ 層、MgドープGaNからなるp側コンタクト層を順に積層したものである。

【0082】

[実施例2]

実施例1において、活性層7を以下のように変える他は同様にしてLED素子を作製した。

(活性層7)

次に、アンドープGaNよりなる障壁層を250オングストロームの膜厚で成長させ、続いて温度を800℃にして、TMG、TMI、アンモニアを用いアンドープ $In_{0.3}Ga_{0.7}N$ よりなる井戸層を30オングストロームの膜厚で成長させる。そして障壁+井戸+障壁+井戸・・・+障壁の順で障壁層を7層、井戸層を6層、交互に積層して、総膜厚1930オングストロームの多重量子井戸構造よりなる活性層7を成長させる。

得られたLED素子は、順方向電流20mAにおいて、470nmの純青色発光を示し、実施例1と同様に良好な結果が得られる。

【0083】

[実施例3]

実施例1において、活性層7を以下のように変える他は同様にしてLED素子を作製した。

(活性層7)

次に、アンドープGaNよりなる障壁層を250オングストロームの膜厚で成長させ、続いて温度を800℃にして、TMG、TMI、アンモニアを用いアン

ドーブ $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ よりなる井戸層を 30 オングストロームの膜厚で成長させる。そして障壁+井戸+障壁+井戸・・・+障壁の順で障壁層を 6 層、井戸層を 5 層、交互に積層して、総膜厚 1650 オングストロームの多重量子井戸構造よりなる活性層 7 を成長させる。

得られた LED 素子は、順方向電流 20 mA において、470 nm の純青色発光を示し、実施例 1 と同様に良好な結果が得られる。

【0084】

[実施例 4]

実施例 1 において、活性層 7 を以下のように変える他は同様にして LED 素子を作製した。

(活性層 7)

次に、アンドーブ GaN よりなる障壁層を 250 オングストロームの膜厚で成長させ、続いて温度を 800℃ にして、TMG、TMI、アンモニアを用いアンドーブ $\text{In}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ よりなる井戸層を 30 オングストロームの膜厚で成長させる。そして障壁+井戸+障壁+井戸・・・+障壁の順で障壁層を 7 層、井戸層を 6 層、交互に積層して、総膜厚 1930 オングストロームの多重量子井戸構造よりなる活性層 7 を成長させる。

得られた LED 素子は、順方向電流 20 mA において、500 nm の青緑色発光を示し、実施例 1 と同様に良好な結果が得られる。

【0085】

[実施例 5]

実施例 1 において、活性層 7 を以下のように変える他は同様にして LED 素子を作製した。

(活性層 7)

次に、アンドーブ GaN よりなる障壁層を 250 オングストロームの膜厚で成長させ、続いて温度を 800℃ にして、TMG、TMI、アンモニアを用いアンドーブ $\text{In}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ よりなる井戸層を 30 オングストロームの膜厚で成長させる。そして障壁+井戸+障壁+井戸・・・+障壁の順で障壁層を 4 層、井戸層を 3 層、交互に積層して、総膜厚 1090 オングストロームの多重量子井戸

構造よりなる活性層 7 を成長させる。

得られた LED 素子は、順方向電流 20 mA において、500 nm の青緑色発光を示し、実施例 1 と同様に良好な結果が得られる。

【0086】

[実施例 6]

実施例 1 において、n 側第 2 多層膜層 6 を成長させない他は同様にして LED 素子を作製した。

得られた LED 素子は、実施例 1 に比べやや素子特性及び発光出力が低いものの、静電耐圧は実施例 1 とほぼ同様に良好となる。

【0087】

[実施例 7]

実施例 1 において、多層膜 p 型クラッド層 8 を以下のように変える他は同様にして LED 素子を作製した。

(単一膜 p 型クラッド層 8)

温度 1050℃ で TMG、TMA、アンモニア、 Cp_2Mg (シクロペンタジエニルマグネシウム) を用い、Mg を $5 \times 10^{19} / cm^3$ ドープした p 型 $Al_{0.16}Ga_{0.84}N$ よりなる単一膜 p 型クラッド層 8 を 300 オングストロームの膜厚で成長させる。

得られた LED 素子は、クラッド層を超格子とせず単一の層として成長させているが、その他の層構成との組み合わせにより、実施例 1 よりやや発光出力などの性能が劣るものの、静電耐圧はほぼ同様に良好な結果が得られる。また、単一層とすると、多層膜層にする場合に比べ製造工程が簡易化でき好ましい。

【0088】

[実施例 8]

実施例 1 において、n 型コンタクト層 4 と n 型第 1 多層膜層 5 を以下のように各膜厚を変更する他は同様にして LED 素子を作製した。

(n 型コンタクト層 4)

実施例 1 の n 型コンタクト層 4 において、膜厚を 2.165 μm とする他は同様にして、n 型コンタクト層 4 を成長させる。

(n型第1多層膜層5)

次にシランガスのみを止め、1050℃で、TMG、アンモニアガスを用い、アンドープGaNからなる下層5aを3000オングストロームの膜厚で成長させ、続いて同温度にてシランガスを追加しSiを $4.5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたGaNからなる中間層5bを300オングストロームの膜厚で成長させ、更に続いてシランガスのみを止め、同温度にてアンドープGaNからなる上層5cを50オングストロームの膜厚で成長させ、3層からなる総膜厚3350の第1多層膜層5を成長させる。

得られたLED素子は、実施例1とほぼ同等の特性を有し、良好な結果が得られる。

【0089】

[実施例9]

実施例8において、n型コンタクト層4の膜厚を $4.165 \mu\text{m}$ として、アンドープGaN層3、n型コンタクト層4及びn型第1多層膜層5の合計の膜厚を $6.0 \mu\text{m}$ とする他は同様にしてLED素子を作製する。

得られたLED素子は、静電耐圧が実施例8よりやや良好となるが、実施例8とほぼ同等の特性を示し、良好な結果が得られる。

【0090】

[実施例10]

実施例8において、p型低濃度ドープ層9の膜厚を3000オングストロームにし、p型低濃度ドープ層9のMg濃度がほぼ $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ となる他は同様にしてLED素子を作製する。

得られたLED素子は、実施例8と同様に良好な結果が得られる。

【0091】

[実施例11]

実施例8において、中濃度ドープの多層膜p型クラッド層8の第1の窒化物半導体層及び第2の窒化物半導体層のMg濃度を $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ とし、高濃度ドープのp型コンタクト層10のMg濃度を $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ とし、更に低濃度ドープ層9のMg濃度がほぼ $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ となる他は同様にしてLED素子を

作製する。

得られた L E D 素子は実施例 8 と同様に良好な結果が得られる。

【 0 0 9 2 】

〔実施例 1 2〕

実施例 8 において、中濃度ドーブの多層膜 p 型クラッド層 8 の第 1 の窒化物半導体層の M g 濃度を $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ にし、第 2 の窒化物半導体層をアンドープとし、不純物濃度の異なる第 1 の窒化物半導体層と第 2 の窒化物半導体層とから多層膜 p 型クラッド層 8 を形成する他は同様にして L E D 素子を製造する。中濃度ドーブの多層膜 p 型クラッド層 8 全体の平均 M g 濃度は $2 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ となり、隣接の低濃度ドーブ層 9 の M g 濃度の最低値は $3 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ となり、高濃度ドーブの p 型コンタクト層 1 0 の M g 濃度は $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ となる。

得られた L E D 素子は、実施例 8 とほぼ同様に良好な結果が得られる。

【 0 0 9 3 】

〔実施例 1 3〕

実施例 1 において、p 型低濃度ドーブ層 9 を、TMG、アンモニアを用い、膜厚 1 0 0 0 オングストロームの $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ からなる p 型低濃度ドーブ層 9 を成長させる他は同様にして L E D 素子を製造する。p 型低濃度ドーブ層 9 の最も濃度の低い部分の M g 濃度は、p 型クラッド層 8 及び p 型コンタクト層 1 0 より低濃度である。

得られた L E D は、実施例 1 とほぼ同様に良好な結果が得られる。

【 0 0 9 4 】

〔実施例 1 4〕

実施例 1 において、p 型低濃度ドーブ層 9 の成長の際に、TMG、 Cp_2Mg 、アンモニアを用い、最も濃度が低い部分の M g 濃度が $8 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ となるように Cp_2Mg のガスの流量を調整して、膜厚 2 0 0 0 オングストロームの GaN からなる p 型低濃度ドーブ層 9 を成長させる他は同様にして L E D 素子を製造する。

得られた L E D 素子は、実施例 1 とほぼ同様に良好な結果が得られる。

【 0 0 9 5 】

[実施例 15]

実施例 8 において、p 型低濃度ドーピング層 9 の膜厚を 1000 オングストロームにし、p 型低濃度ドーピング層 9 の最も濃度が低い部分の Mg 濃度がほぼ $6.4 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ となる他は同様にして LED 素子を作製する。

得られた LED 素子は、実施例 8 とほぼ同様に良好な結果が得られる。

[0096]

[実施例 16]

実施例 8 において、n 型コンタクト層 4 の膜厚を、 $5.165 \mu\text{m}$ 、 $7.165 \mu\text{m}$ とし、アンドープ GaN 層 3、n 型コンタクト層 4 及び n 型第 1 多層膜層 5 の合計の膜厚をそれぞれ $7.0 \mu\text{m}$ 、 $9.0 \mu\text{m}$ とする他は同様にして 2 種の LED 素子を作製する。

得られた LED 素子は、静電耐圧が実施例 8 よりやや良好となるが、いずれも実施例 8 とほぼ同等の特性を示し、良好な結果が得られる。

[0097]

[実施例 17]

実施例 8 において、中濃度ドーピングの多層膜 p 型クラッド層 8 をアンドープの $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる第 1 の窒化物半導体層と、Mg を $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープした $\text{In}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ よりなる第 2 の窒化物半導体層とからなる多層膜とする他は同様にして LED 素子を作製する。

得られた LED 素子は、実施例 8 とほぼ同等の特性を示す。

[0098]

[実施例 18]

実施例 8 において、n 型第 1 多層膜層 5 が、アンドープ GaN からなる 3000 オングストロームの膜厚の下層 5a と、 $4.5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープした 3000 オングストロームの膜厚の $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ からなる中間層 5b と、アンドープ GaN からなる 50 オングストロームの膜厚の上層 5c とを成長させてなる他は同様にして LED 素子を作製する。

得られた LED 素子は、実施例 8 とほぼ同等の特性を有し、良好な結果が得られる。

【0099】

【実施例 19】

実施例 8 において、n 型第 1 多層膜層 5 が、アンドープ $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ からなる 3000 オングストロームの膜厚の下層 5a と、 $4.5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープした 300 オングストロームの膜厚の $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ からなる中間層 5b と、アンドープ $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ からなる 50 オングストロームの膜厚の上層 5c とを成長させてなる他は同様にして LED 素子を作製する。

得られた LED 素子は、実施例 8 とほぼ同等の特性を有し、良好な結果が得られる。

【0100】

【実施例 20】

実施例 8 において、n 側第 1 多層膜層 5 が、アンドープ $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ からなる 3000 オングストロームの膜厚の下層 5a と、 $4.5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープした 300 オングストロームの膜厚の GaN からなる中間層 5b と、アンドープ GaN からなる 50 オングストロームの膜厚の上層 5c とを成長させてなる他は同様にして LED 素子を作製する。

得られた LED 素子は、実施例 8 とほぼ同等の特性を有し、良好な結果が得られる。

【0101】

【実施例 21】

実施例 8 において、n 側コンタクト層 4 を、Si を $4.5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープした $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ の膜厚 4.165 μm とする他は同様にして LED 素子を作製する。

得られた LED 素子は、実施例 8 とほぼ同等の特性を示す。

【0102】

【実施例 22】

実施例 1 において、n 型第 1 多層膜層 5 に変えて、アンドープの GaN からなる膜厚 1500 オングストロームの単一アンドープ層を形成する他は同様にして LED 素子を作製する。

得られたLED素子は、実施例1に比べてやや静電耐圧が低下する傾向があるが、ほぼ同等の素子特性を示す。

【0103】

[実施例23]

実施例1において、n型第2多層膜層6を、アンドープのGaNよりなる第4の窒化物半導体層と、Siを $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ ドープした $\text{In}_{0.13}\text{Ga}_{0.87}\text{N}$ よりなる第3の窒化物半導体層とからなる多層膜とする他は同様にしてLED素子を作製する。

得られたLED素子は、実施例1とほぼ同等の素子特性を示す。

【0104】

【発明の効果】

本発明は、多重量子井戸構造の活性層を用い種々の応用製品への適用範囲の拡大を可能とするため、発光出力がより向上し、静電耐圧が良好な窒化物半導体発光素子を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

図1は、本発明の一実施の形態であるLED素子の構造を示す模式断面図である。

【図2】

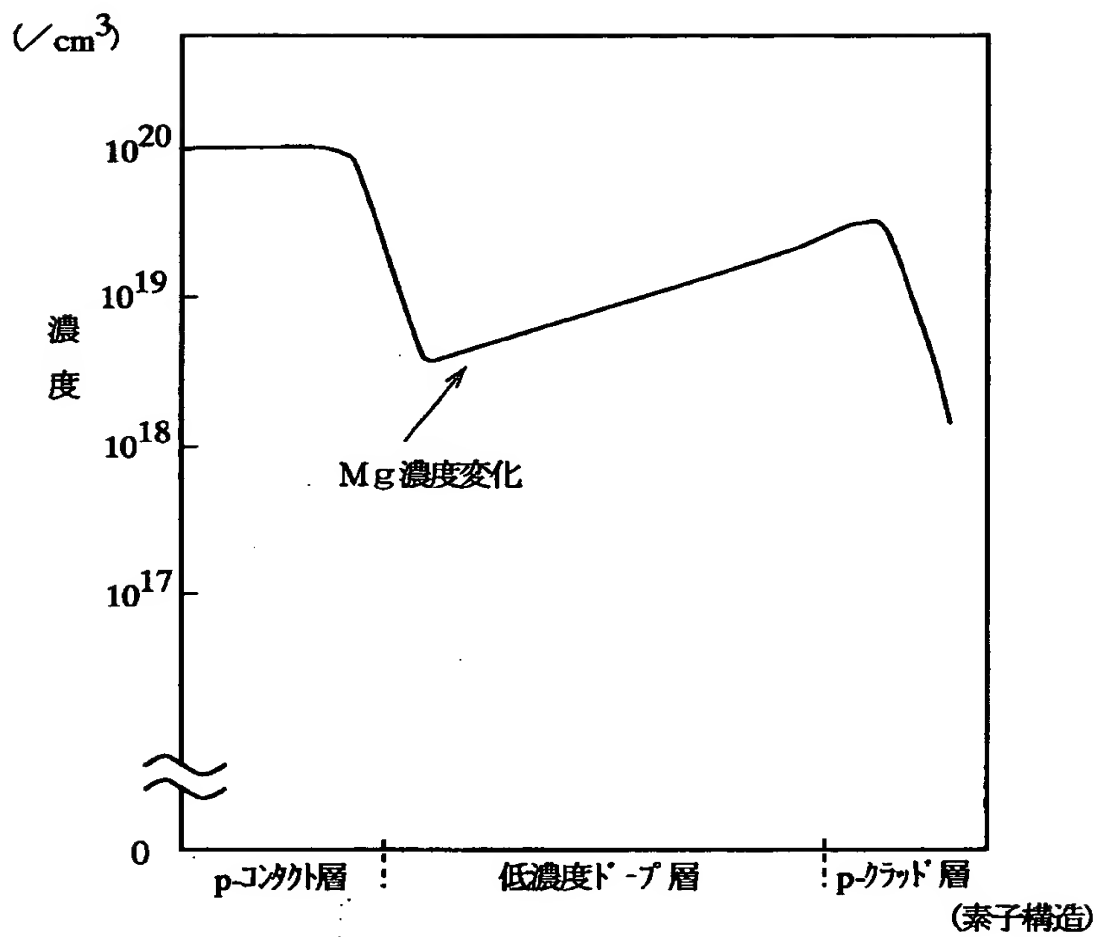
図2は、本発明の低濃度ドープ層と、その層に隣接する中濃度ドープのp型クラッド層及び高濃度ドープのp型コンタクト層内のp型不純物濃度の変化の分布について、変化の様子を示した模式的なグラフである。

【符号の説明】

- 1・・・サファイア基板
- 2・・・バッファ層
- 3・・・アンドープGaN層
- 4・・・n型コンタクト層
- 5・・・n型第1多層膜層
- 5a・・・アンドープの下層

- 5 b . . . n 型不純物ドーブの中間層
- 5 c . . . アンドープの上層
 - 6 . . . n 型第 2 多層膜層
 - 7 . . . 活性層
 - 8 . . . 中濃度ドーブの p 型クラッド層
 - 9 . . . 低濃度ドーブの p 型低濃度ドーブ層
- 1 0 . . . 高濃度ドーブの p 型コンタクト層
- 1 1 . . . p 電極
- 1 2 . . . n 電極

【図 2】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 多重量子井戸構造の活性層を用い種々の応用製品への適用範囲の拡大を可能とするため、発光出力がより向上し、静電耐圧が良好な窒化物半導体発光素子を提供する。

【解決手段】 活性層 7 が $\text{In}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ ($0 \leq a < 1$) を含んでなる多重量子井戸構造であり、この活性層 7 上に順に、Al を含む第 1 の窒化物半導体層と、その第 1 の窒化物半導体層と異なる組成を有する第 2 の窒化物半導体層とが積層され p 型不純物を含有してなる多層膜 p 型クラッド層 8 又は $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ ($0 \leq b \leq 1$) よりなり p 型不純物を含有する単一膜 p 型クラッド層 8 と、前記 p 型クラッド層 8 の p 型不純物濃度より、低濃度で p 型不純物を含有する p 型低濃度ドーピング層 9 と、前記 p 型クラッド層 8 及び p 型低濃度ドーピング層 9 の p 型不純物濃度より高濃度で p 型不純物を含有する p 型コンタクト層 10 とを有する。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000226057]

1. 変更年月日 1990年 8月18日

[変更理由] 新規登録

住 所 徳島県阿南市上中町岡491番地100

氏 名 日亜化学工業株式会社